

## **Розробка та дослідження комбінованого сонячного колектору на основі алюмінієвих теплових труб для ефективного перетворення сонячної енергії в електричну та теплову**

## **Разработка и исследование комбинированного солнечного коллектора на основе алюминиевых тепловых труб для эффективного преобразования солнечной энергии в электрическую и тепловую**

## **Development and investigation of photovoltaic-thermal module based on aluminium heat pipes for the efficient conversion of solar energy to electricity and heat**

- 1. Номер державної реєстрації теми - 0115U000382,**
- 2. Науковий керівник -** к.т.н., с.н.с. Хайрмасов С.М., Хайрмасов С.М., Khairnasov Sergii M.

### **3. Суть розробки, основні результати.**

**(укр.)**

Створено принципово нове технічне рішення елементу сонячної енергетичної установки – комбінованого сонячного колектору, для одночасного перетворення сонячної енергії в теплову та електричну. В ході реалізації проекту розроблено, виготовлено та досліджено макетні зразки теплових труб для комбінованого сонячного колектору та макетний зразок комбінованого сонячного колектору, проведені теплотехнічні дослідження алюмінієвих теплових труб та теплових і електричних характеристик комбінованого сонячного колектору на їх основі, що підтвердили перспективність їх використання. Розроблені основи технології виготовлення алюмінієвих теплових труб для комбінованих сонячних колекторів, що включають процеси підготовки теплоносія і корпусу алюмінієвих теплових труб, а також заправки та герметизації. Визначені основні робочі характеристики алюмінієвих теплових труб з теплоносіями ацетон та пентан, що необхідні для їх проектування, такі як: значення коефіцієнтів теплообміну в зоні нагріву і конденсації, термічний опір, величини максимальних теплових потоків, що передаються. Розроблені теплові труби здатні забезпечувати функціонування комбінованих сонячних колекторів від 0<sup>0</sup>C до 120<sup>0</sup>C. При цьому температурний діапазон їх експлуатації дорівнює від – 40<sup>0</sup>C до + 230<sup>0</sup>C.

Встановлені робочі характеристики (теплова і електрична ефективності, темп розігріву води, вольт-амперна характеристика) діючого макету комбінованого сонячного колектору та їх залежності від зовнішніх умов (густини сонячного потоку, температури навколишнього середовища) та витрат теплоносія в системі. На основі теоретичного аналізу виявлено оптимальні режими експлуатації комбінованого сонячного колектору. Доказано, що комбінований сонячний колектор має більш ефективну роботу в порівнянні з роздільними тепловими сонячними колекторами та фотоелектричними батареями при низьких температурах на абсорбуючій поверхні (нижче 50<sup>0</sup>C) і зазвичай при більш високих значеннях сонячного потоку (більше 600 Вт/м<sup>2</sup>). Аналіз розрахунків та експериментальних даних показав, що розроблений комбінований сонячний колектор дозволяє підвищити ефективність отримання електричної енергії до 23% за рахунок охолодження фотоелектричних перетворювачів, при цьому його максимальна електрична потужність становила 135 Вт/м<sup>2</sup>. Крім електроенергії, одночасно, можна отримати до 457 Вт тепла з 1 м<sup>2</sup> теплопоглинальною поверхні, при температурі вихідного теплоносія 25<sup>0</sup>C і густині сонячного потоку 900 Вт/м<sup>2</sup>.

**(рос.)**

Создано принципиально новое техническое решение элемента солнечной энергетической установки - комбинированного солнечного коллектора, для одновременного преобразования солнечной энергии в тепловую и электрическую. В ходе реализации проекта разработаны, изготовлены и исследованы макетные образцы тепловых труб для комбинированного солнечного коллектора и макетный образец комбинированного солнечного коллектора, проведенные теплотехнические исследования алюминиевых тепловых труб и тепловых и электрических характеристик комбинированного солнечного коллектора на их основе, подтвердили перспективность их использования. Разработаны основы технологии изготовления алюминиевых тепловых труб для комбинированных солнечных коллекторов, включающих процессы подготовки теплоносителя и корпуса алюминиевых тепловых труб, а также заправки и герметизации. Определены основные рабочие характеристики алюминиевых тепловых труб с теплоносителями ацетон и пентан, которые необходимы для их проектирования, такие как: значения коэффициентов теплообмена в зоне нагрева и конденсации, термическое сопротивление, величины максимальных передаваемых тепловых потоков. Разработанные тепловые трубы способны обеспечивать функционирование комбинированных солнечных коллекторов от  $0^{\circ}\text{C}$  до  $120^{\circ}\text{C}$ . При этом температурный диапазон их эксплуатации равен от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+230^{\circ}\text{C}$ .

Установлены рабочие характеристики (тепловая и электрическая эффективности, темп разогрева воды, вольт-амперная характеристика) действующего макета комбинированного солнечного коллектора и их зависимости от внешних условий (плотности солнечного потока, температуры окружающей среды) и расхода теплоносителя в системе. На основе теоретического анализа выявлено оптимальные режимы эксплуатации комбинированного солнечного коллектора. Доказано, что комбинированный солнечный коллектор имеет более эффективную работу по сравнению с отдельными тепловыми солнечными коллекторами и фотоэлектрическими батареями при низких температурах на поглощающей поверхности (ниже  $50^{\circ}\text{C}$ ) и обычно при более высоких значениях солнечного потока (более  $600\text{ Вт/м}^2$ ). Анализ расчетов и экспериментальных данных показал, что разработанный комбинированный солнечный коллектор позволяет повысить эффективность получения электрической энергии до 23% за счет охлаждения фотоэлектрических преобразователей, при этом его максимальная электрическая мощность составляла  $135\text{ Вт/м}^2$ . Кроме электроэнергии, одновременно, можно получить до  $457\text{ Вт}$  тепла с  $1\text{ м}^2$  теплопоглощающей поверхности при температуре исходного теплоносителя  $25^{\circ}\text{C}$  и плотности солнечного потока  $900\text{ Вт/м}^2$ .

**(англ.)**

New technical solution of photovoltaic thermal module for simultaneous conversion of solar energy into heat and electricity was created. The mock-ups of aluminium heat pipes and photovoltaic-thermal module were developed and fabricated during projects. As well thermal tests of aluminium heat pipes, thermal and electrical characteristics of photovoltaics thermal module were performed that confirms the prospect of their application. The technology of production of aluminum heat pipe for photovoltaic-thermal module which is including the processes of working fluid preparation and heat pipes container, as well as filling and encapsulating, were developed. The performances (heat transfer intensity in evaporation and condensation zones, thermal resistance, maximal heat flux in evaporation zone and maximal heat transfer ability) of aluminium heat pipes which were filling by acetone and pentane were obtained. Developed heat pipes are capable of providing a photovoltaic-thermal module operation from the  $0^{\circ}\text{C}$  up to  $120^{\circ}\text{C}$ . In this case the temperature of their operating range is from  $-40^{\circ}\text{C}$  and  $+230^{\circ}\text{C}$ .

The performances (such as thermal and electrical efficiency, the rate of heating of the water, the current-voltage characteristic) of the photovoltaic-thermal module mock-up and their dependence on operation conditions (solar flux density, ambient temperature) and working fluid flow in the system were defined. The optimal operation modes of the photovoltaic-thermal module were obtained on theoretical analysis bases. It is proved that the photovoltaic-thermal

module has a better efficiency than separate thermal solar collectors and photovoltaic panels at low temperatures of the absorbing surface (below 50 °C) and generally at higher solar flux (more than 600 W/m<sup>2</sup>). Analysis of the calculations and the experimental data showed that developed photovoltaic-thermal module can improve the efficiency of electricity generation up to 23% by cooling of the photovoltaic cells. At same time its maximum electric power was 135 W/m<sup>2</sup>. In addition simultaneously, it's possible to reach up to 457 watts of heat from 1 m<sup>2</sup> of the absorbing surface at the working fluid temperature of 25 °C and the solar flux density of 900 W/m<sup>2</sup>.

#### **4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності.**

- Australian New Innovation Patent Application № 2014100354 // Combined Photovoltaic-Thermal Solar Collector/ Elgart Y., Rassamakin B., Khairnasov S., Dusheiko M., Rassamakin A., Frolov G. – 7 p.; 10.04.2014;
- Патент ..... (буде наведено пізніше, готується подача заявки)

#### **5. Порівняння зі світовими аналогами.**

Результати відповідають світовому рівню, а використання в конструкції комбінованого сонячного колектору алюмінієвих теплових труб, що дозволяє створювати модульну конструкцію сонячної енергетичної системи, не мають аналогів у світовій практиці.

#### **6. Економічна привабливість для просування на ринок**

Застосування розробленої конструкції комбінованого сонячного колектору дозволяє:

- підвищити до 23% сумарного одночасного отримання теплової та електричної енергії в порівнянні з окремими сонячним колектором та фотоелектричною батареєю;
- підвищити електричну ефективність додатково до 2% за рахунок ізотермічності поверхні фотоелектричних перетворювачів;
- знизити гідравлічний опір теплообмінника більше ніж у 4 рази в порівнянні з аналогами.

#### **7. Потенційні користувачі (галузі, міністерства, підприємства, організації).**

Технологія виготовлення комбінованого сонячного колектору на основі алюмінієвих теплових труб може бути застосована на підприємствах та в організаціях різних галузей промисловості, що займаються розробкою, виготовленням та впровадженням сонячних енергетичних систем та енергоефективного обладнання. Її результати у перспективі можуть бути використані при виробництві сонячних колекторів на основі теплових труб та їх елементів на підприємствах ТОВ «Ефектпроф» (м. Київ), ПАТ «Сумське НВО ім. М.В. Фрунзе» (м. Суми), ПП «Науково-впроваджувальна фірма Теплові технології» (м. Київ), які займаються розробкою, виготовленням та впровадженням теплообмінного обладнання та енергоефективних систем. Комбіновані сонячні колектори можуть бути використані при створенні сонячних енергетичних систем для електрозабезпечення та забезпечення ГВС приватних будинків, багатоквартирних житлових будинків, офісних будівель, готелів та промислових будівель на протязі всього року.

#### **8. Стан готовності розробки.**

Розроблено та виготовлено макет комбінованого сонячного колектору, відпрацьовані відповідні технології і розроблені технологічні рекомендації щодо ефективного застосування експериментального макету. Можлива розробка дослідно-промислових зразків нового сонячного колектору, які можуть бути впроваджені у промислове виробництво.

## 9. Існуючі результати впровадження.

Технологія виготовлення алюмінієвих теплових труб для сонячних теплових та комбінованих сонячних колекторів впроваджена на ПП «Науково-впроваджувальна фірма Теплові технології» (м. Київ).

## 10. Форма участі інвестора *(яка краща форма участі в реалізації результатів проекту інвестора: частка в проекті%, частка від прибутку%, інше)*

Краща форма участі інвестора в реалізації проекту - частка від прибутку.

## 11. Обсяг інвестицій *(необхідна для результатів проекту сума інвестицій в доларах США).*

350 тис. доларів США.

## 12. Мета інвестицій *(розширення бізнесу, створення нового підприємства, інше).*

Створення нового підприємства та удосконалення технологічного процесу.

## 13. Назва організації, телефон, E-mail

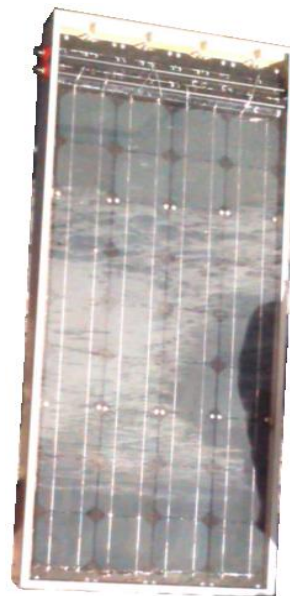
НТУУ"КПІ", теплоенергетичний факультет, кафедра атомних електричних станцій і інженерної теплофізики.

(044) 406-83-66, [sergey.khairnasov@gmail.com](mailto:sergey.khairnasov@gmail.com)

## 14. Фото розробки



Теплові труби, що можуть використовуватись в сонячних теплових та комбінованих колекторах, призначених для інтеграції в фасадах будівель



Макет комбінованого сонячного колектору на основі алюмінієвих теплових труб

## 15. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання розробки

1. С.М. Хайрнасоев, Б.М. Рассемакин, Е.Н. Письменный. Теплообмен в зоне испарения алюминиевых аммиачных тепловых труб. Наукові вісті. (стаття знаходиться у редакції, запланований друк збірник №6 2016 року).

2. Sergii Khairnasov, Charles E. Andraka, Volodymyr Baturkin, Vladlen Zaripov, Oleksandr Nishchyk. Development of advanced high porosity wicks for the high temperature heat pipes of concentrating solar power. Applied thermal Engineering. (стаття знаходиться у редакції, запланований друк - 2016 рік)

3. S. M. Khairnasov and A. M. Naumova. Heat Pipes Application to Solar Energy Systems, Applied Solar Energy, 2016, Vol. 52, No. 1, pp. 47–60.

4. Boris Rassamakin, Sergii Khairnasov, Anna Anisimova. Thermal performance of aluminium grooved heat pipes. 2016 International Conference on Electronics and Information Technology (EIT), Odessa, 2016, pp. 1 – 4.

5. Kozak, D.V., Nikolaenko, Y.E. The working characteristics of two-phase heat transfer devices for LED modules 2016 International Conference on Electronics and Information Technology, EIT 2016 - Conference Proceedings, pp. 1 – 4.

6. Sergii Khairnasov, Charles E. Andraka, Volodymyr Baturkin, Vladlen Zaripov, Oleksandr Nishchyk. Development of advanced high porosity wicks for the high temperature heat pipes of concentrating solar power, Joint 18th IHPC and 12th IHPS, Jeju, Korea, June 12-16, 2016. pp. 58 – 65.

7. Kozak, D.V., Nikolaenko, Y.E. The working characteristics of two-phase heat transfer devices for LED modules 2016 International Conference on Electronics and Information Technology, EIT 2016 - Conference Proceedings, pp. 1 – 4.

8. Д.В. Козак, Ю.Е. Николаенко. Термическое сопротивление гравитационной тепловой трубы с резбовидной капиллярной структурой: Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики: Матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції аспірантів, магістрантів і студентів, присвяченої 85 річчю теплоенергетичного факультету, м. Київ, 18 – 21 квітня 2016 р.

9. Козак Д.В., Хайрнасів С.М. Влияние давления на кризис теплообмена при кипении в алюминиевых канавчатых тепловых трубах: Матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції аспірантів, магістрантів і студентів, присвяченої 85 річчю теплоенергетичного факультету, м. Київ, 18 – 21 квітня 2016 р.

10. Ю.Е. Николаенко, Д.В. Козак, В.Ю. Кравец, С.М. Хайрнасів. Сравнение тепловых характеристик термосифона и гравитационной тепловой трубы одинаковых размеров. Труды XVII международной научно-практической конференции “Современные информационные и электронные технологии”, 23-27 мая 2016 г. – Одесса.

11. Sergii Khairnasov, Alyona Naumova. Heat Pipes Application in Electronics Thermal Control Systems, Frontiers in Heat Pipes (FHP), 6, 6 (2015), pp. 1-14.

12. Sergii Khairnasov, Boris Rassamakin, Dmytro Kozak, Anna Anisimova. Experimental Investigations of Aluminium Thermosyphons for Photovoltaic-thermal module. Heat Pipe Science and Technology: An International Journal 6(3) 1-11 (2015).

13. С.М. Хайрнасів. Применение тепловых труб в системах обеспечения тепловых режимов РЭА: современное состояние и перспективы. Технология и конструирование в электронной аппаратуре, 2015, № 2–3, с. 19 – 33.

14. С.М. Хайрнасів. Сучасний стан використання теплових труб у сонячних теплових та комбінованих колекторах. Відродження енергетики. 2015. № 2, с. 42 – 50.

15. Sergii Khairnasov, Boris Rassamakin, Dmytro Kozak, Anna Anisimova. Sergii Khairnasov, Boris Rassamakin, Dmytro Kozak, Anna Anisimova. Experimental investigations of aluminium thermosyphons for photovoltaic-thermal module. IX Minsk International Seminar “Heat Pipes, Heat Pumps, Refrigerators, Power Sources”, Minsk, Belarus, 07-10 September, 2015, с. 70-77.

16. С.М. Хайрнасів. Використання теплових труб в сонячних енергетичних системах: системи з концентрацією сонячної енергії, сонячні стіни, сонячні плити. Відродження енергетики. 2015. № 4, с. 28 -35.

**16. Ключові слова:** алюмінієві теплові труби; комбіновані сонячні колектори; сонячна енергетика.